

ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАТОРА СИЛОВОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ, РАБОТАЮЩЕГО В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ, В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССАХ ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН

М. В. Мудров,

доцент, канд. техн. наук

А. М. Зюзев,

профессор, д-р техн. наук

А. Ю. Коняев,

профессор, д-р техн. наук

Д. Н. Багин,

профессор, д-р техн. наук

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург

Аннотация. В статье рассматривается вариант применения программно-аппаратного комплекса имитатора силового оборудования, работающего в реальном времени. Данная платформа с установленным программным обеспечением в точности моделирует процесс работы реального оборудования в реальном времени. То есть при подключении действующего блока управления каким-либо механизмом (подъемно-транспортной машиной) к такому комплексу блок будет реагировать на компьютерную модель имитатора, точно так же, как и на работу с настоящим оборудованием, причем в широком спектре нагрузочных характеристик.

Ключевые слова: *имитатор работы силового оборудования, программно-аппаратное моделирование, встроенная система реального времени, математическое представление динамических систем.*

THE USE OF A REAL-TIME POWER ELECTRICAL EQUIPMENT SIMULATOR IN THE PRODUCTION PROCESSES OF HOISTING-AND-TRANSPORT MACHINES

Abstract. The real-time software-hardware complex of power equipment application variant is under discussion in the article. This platform with the installed software accurately simulates the real equipment behaviour in real time. In other words, mechanism (for instance hoisting-and-transport machine) control module behavior will be the same in both cases described below. In the first case control block can be connected to the real equipment. In second case aforementioned control block can be connected to the software-hardware complex. Moreover, described complex can simulate mechanism behavior in a wide range of load characteristics.

Keywords: *simulator of power equipment operation, software and hardware modeling, built-in real-time system, mathematical representation of dynamic systems.*

Программно-аппаратный комплекс реального времени позволяет математически моделировать работу динамической системы (сложного энергетического и механического оборудования), работающего в различных режимах нагрузки. Такие системы могут применяться там, где необходимо обучение персонала работе на оборудовании, управляющим сложными комплексами с быстрой реакцией, где такую реакцию сложно смоделировать на обычном компьютере в реальном времени. В данном случае под реальным временем понимается время выполнения микросекунды реального процесса за микросекунду машинного времени. Имитационное моделирование заключается в си-

муляции всего производственного процесса или его отдельного этапа (части). Имитатор представляет собой визуальную объектно ориентированную среду для построения имитационных моделей широкого класса систем. Математическая модель процесса строится из имеющейся информационной библиотеки, где учитываются состояние, положение и подвижность объекта; генераторы событий; обмен данными; методы для обработки событий и объекты для представления данных. Все объекты обладают набором определенных параметров (например, время операции) и поведением. При необходимости можно создать более сложную

платформу, объединяя базовые объекты и добавляя подпрограммы (методы) обработки событий.

По результатам моделирования работы оборудования может собираться статистика процесса, например время работы оборудования в различных режимах, цикличность, производительность, и другие технические показатели.

Такие комплексы могут широко применяться в техническом обследовании систем контроля и управления средствами механизации подъемно-транспортных и погрузочно-разгрузочных работ.

На рис. 1 демонстрируется семейство зависимостей среднеквадратичных отклонений между массивами переменных x_{1HL} и $x_{1мод}$, полученными при имитации разгона двигателей постоянного тока, описываемых общеизвестной системой дифференциальных уравнений, при различных комбинациях постоянной времени якоря и механической постоянной времени T_1 и T_2 [1].

Массив переменной x_{1HL} , которая соответствует переменной момента электрической машины, вычислен в имитаторе силового оборудования при разном количестве разрядов дробной части переменных, изменяющихся от 33 до 43 бит. Массив переменной $x_{1мод}$, которая соответствует переменной момента, взятой для примера электрической машины, вычислен в компьютерной модели в Matlab/Simulink методом Рунге — Кутты 4-го порядка в переменных с плавающей точкой. Шаг расчета (h) модели имитатора и компьютерной модели выбран равный 10^{-6} с.

Для рассматриваемого двигателя зависимость среднеквадратичного отклонения от количества

разрядов дробной части переменных в имитаторе силового оборудования представлена на рис. 2. Здесь отклонение, к которому стремится диаграмма, представляет собой ошибку вычисления СДУ методом Эйлера.

Представленные зависимости (рис. 1 и 2) демонстрируют, что для модели в имитаторе сило-

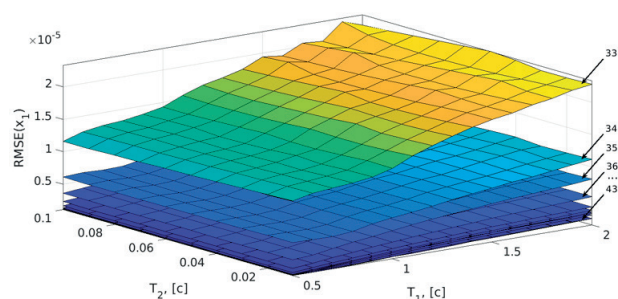


Рис. 1. Зависимости среднеквадратичного отклонения $RMSE$ переменной x_1 от постоянных времени T_1 и T_2 при разном количестве разрядов дробной части данных модели имитатора

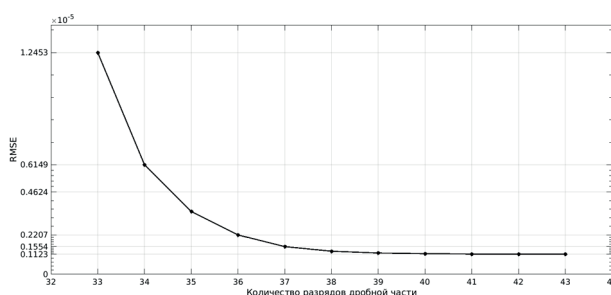


Рис. 2. Зависимости среднеквадратичного отклонения $RMSE$ переменной x_1 от количества разрядов дробной части данных модели имитатора

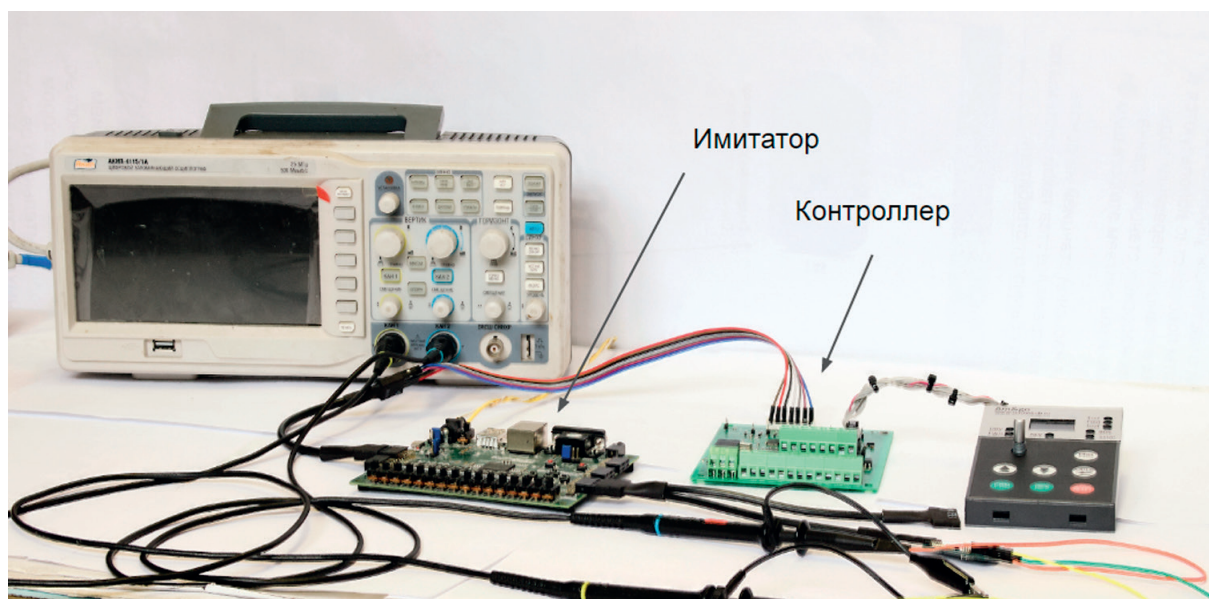


Рис. 3. Испытательный стенд имитатора силового оборудования, работающего в реальном времени

вого оборудования можно определить «граничное число разрядов», не повышающее существенно точность по переменной тока якоря — 35 разрядов для дробной части всех переменных модели. При этом для электрического двигателя, взятого в качестве примера, подобное решение обеспечивает среднеквадратичное отклонение, не превышающее $0,352373 \cdot 10^{-5}$, что является весьма малым и позволяет применять описываемый имитатор силового оборудования в производственных процессах подъёмно-транспортных машин.

На рис. 3 представлен внешний вид имитатора силового оборудования, работающего в реальном

времени. Преимуществом данной компоновки является то, что подобный имитатор, работающий в реальном времени, можно использовать для решения ряда задач в различных производственных процессах, начиная от проведения испытаний и наладки систем управления, заканчивая построением сложных следящих или предиктивных систем управления.

Такой широкий круг применения возможен благодаря относительно простой и быстрой встраиваемости описываемого имитатора.

Список литературы

1. *Mudrov M., Zyuzev A., Nesterov K., Valtchev S.* FPGA-based Hardware-in-the-Loop system bits capacity evaluation based on induction motor model, 2017 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2017 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe). Milan, 2017. P. 1–5. DOI: 10.1109/EEEIC.2017.7977827.